

太陽光発電は、地球環境保全への貢献、エネルギー源多様化への寄与、新産業創出による経済の活性化などから、今後、飛躍的な普及が期待されている。PV産業1兆円規模を目指すためには、現行制度による技術研究開発に加え、PV発電コストを一層低減させるための新たな技術開発が望まれる。

PV systems are expected to spread extensively because of that's contribution to environmental conservation, diversification of energy source, revitalizing the economy with creation of a new industry.

To attain to prosperous PV industry, the new R&D project is necessary to reduce power generation cost drastically.

新規技術研究開発

「1兆円産業に対応できるモジュールコストを目標とする技術開発」の提案

A proposal of subsequent R&D on PV-module's cost reduction for prosperous PV Industry

◆Siバルク系

- 狙い：Si基板の超薄型化、単結晶並みの高品質化
- 超薄型Si基板製造技術の確立
 - Si基板の結晶方位制御技術・結晶欠陥低減技術、セルの表面再結合低減技術などの高品位化技術の確立

◆Si薄膜系

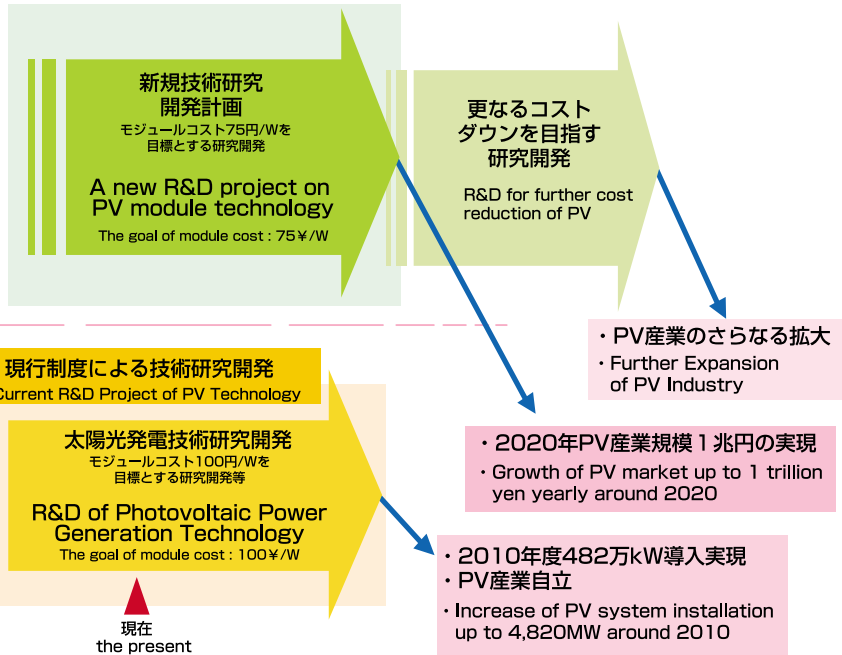
- 狙い：生産効率の1桁向上、現状Siバルク並みの高効率化
- 薄膜材料とデバイスの高品質化ならびに最適デバイス構造により多結晶Si系に迫る高効率化技術の確立
 - CVD工程を中心に高スループット化して設備コストを大幅に圧縮する生産プロセス技術の革新

◆Si-bulk PV module

- R&D concepts : Ultra thin Si-wafer and high conversion efficiency
- Development of ultra thin Si-wafer technology
 - Technological development of a crystalline orientation control, a crystalline defects control, minimizing recombination at the cell surface, and so far

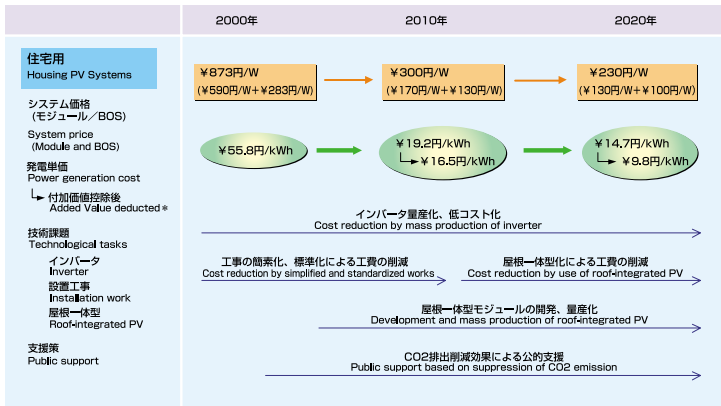
◆Si-thin film PV module

- R&D concepts : High productivity of CVD process and high conversion efficiency
- Process technology for ensuring high productivity and reducing the equipment cost drastically
 - Upgrading thin-film materials and device quality to implement high conversion efficiency, comparable to those existing polycrystalline Si modules



PV市場拡大へのロードマップ

Roadmap for Expansion of PV Market

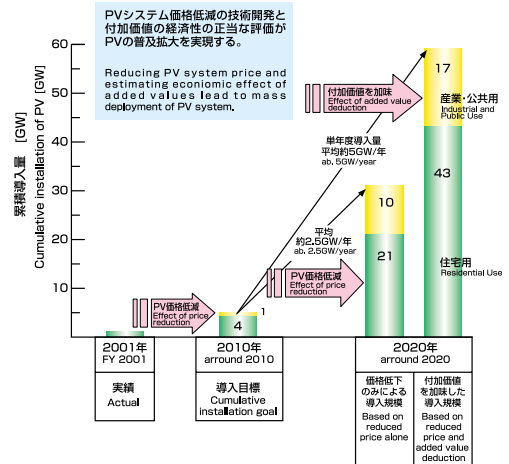


注) 付加価値分として、CO2削減効果分(2.7円/kWh)と屋根工事分(2.2円/kWh:住宅用のみ)を算入した。
* The component of added value consists of reduction of CO2 emission (¥2.7/kWh) and roof construction work (¥2.2/kWh)

PVシステム導入量の分析

価格低減の効果および付加価値(CO2排出抑制効果)の経済性評価の効果

A study on PV system installation
The reducing price and estimating added values lead to mass deployment of PV system.



太陽光発電産業技術ビジョン

- PV 産業創生のための産業技術確立に向けた提言 -

1. はじめに

日本の太陽光発電(PV)産業は、2001 年度に単年度出荷量約 190MW、出荷金額約 1,100 億円に達し^[1]、1999 年度以来世界の PV 産業の中でトップの座を保持している。

PV は、世界的にも本格的な需要期を迎える兆しが見られ、

- ・ 電源多様化によるエネルギー供給への寄与
- ・ CO₂ ガス排出抑制による地球環境保全への貢献
- ・ 新産業創出による経済の活性化

など、PV の担うべき役割に対する期待が大きく膨らんでいる。

このような状況下で、太陽光発電協会(JPEA)による「太陽光発電産業自立に向けたビジョン」が発表され^{[2][4]}、1~2兆円産業を目指す日本の PV 産業ビジョンが提示された。

しかしながら、PV 産業が継続的に発展して担うべき役割を全うするようになるまでには、解決すべき多くの問題がある。なかでも、PV の経済性をみると、主要な用途となっている住宅用 PV システムでは、その発電単価[円/kWh]が既存の電源に比して約 3 倍と高価格である。PV 産業創生のためには、一層の低価格化を進め、広い需要層に受け容れられる商品を提供できるようにすることが必要不可欠であり、これらの課題を克服するためには、今後も、政府・業界・学界の協調関係のもとに切れ目のない技術開発と関連する諸制度の整備を進めていくことが重要である。

太陽光発電技術研究組合(PVTEC)戦略企画小委員会は、長期的に見た PV 産業の主に技術関連課題について、その解決への道筋を明らかにすべく、

2001 年 11 月から 2002 年 12 月にかけて PV 産業技術ビジョン研究を行った。本稿はその活動成果の要約である。

2. 産業技術ビジョンの考え方

2.1 産業技術ビジョンの必要性

PV モジュールのコスト低減等の技術開発計画としては、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「太陽光発電技術研究開発」が、主に 2010 年の PV 導入目標^[3]達成に重点を置いて推進されているが、さらに、2010 年度以降を見据えた JPEA 産業ビジョンを実現するためには、一層の技術進化を追求する必要がある、そのための課題を洗い出し、解決に向けた新たな取組方策を見出して、現行の技術開発計画を強化することが重要である。これには、

- 1) JPEA 産業ビジョンをベースとして、将来の PV 技術のあり方、なかでも PV による発電単価のあるべき水準を想定し、
- 2) それを可能とする PV モジュールコスト、BOS^{*1} コスト、付加価値(CO₂ 排出抑制効果等の価値)、商品としての信頼性等を分析し、
- 3) 具体的な技術開発課題、支援策等につき目標年度を示した行動計画を検討することが有効と考えられる。

2.2 産業技術ビジョンの視点

PV 産業の今後の姿を、JPEA 産業ビジョンを踏まえて考えると、概ね次のように想定される。

時期	2010 年頃 出荷規模が単年度 1.2GW に到達	2020 年頃 出荷規模が単年度 4.3GW に到達	2030 年頃 出荷規模が単年度 10GW に到達
将来像	<ul style="list-style-type: none"> ・ PV モジュールの種別では、バルク Si 系が過半を占めるが、一方、薄膜(Si、CIS)系も市場評価が定着し、相応の市場シェアを獲得する。 ・ 住宅用 PV システムの発電単価が家庭用電灯料金並になると共に、品質・性能を保證する仕組みが確立される。 ・ 産業用 PV システム価格(円/W)が住宅用システムを下回り、付加価値を加味すると発電単価が業務用電力料金並みになって工場・ビルでの PV 利用が離陸する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 薄膜系モジュールがコスト低減を実現して市場拡大を牽引し、バルク Si 系と双壁をなす。 ・ PV の発電単価は 業務用電力料金並になる。戸建住宅に次いで、産業用 PV システムが急速に拡大する。 ・ PV のリサイクル・リユース処理システムが定着する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ バルク Si 系、薄膜(Si、CIS)系に加え、新たなコンセプトによる太陽電池が実用化される。 ・ PV の発電単価が(付加価値分を考慮すると)、電力事業者の発電コスト並みに接近する。 ・ 10 万 kW 級の大規模 PV 発電プラントが稼動する。

[注] 表中の PV 出荷規模は、参考資料[4]から引用。

*1 BOS:balance of system の略。システムのうち、モジュール以外の構成要素を指す。

前頁の将来像を実現するために、PV モジュールの今後の技術開発構想を明らかにすると共に、主要な需要分野毎に次の視点から課題の抽出と取組方策が検討された。

(1) 住宅分野は、

- ・ PV 普及の基盤的市場である。
- ・ 一般需要家への普及には、設置費用の回収年数^{*2}が 20 年では長過ぎると考えられ、15 年で回収できる PV システム価格を目標とする。(2010 年頃)
普及率の急拡大には 10 年程度で回収が可能となるシステム価格を目標とする。(2020 年頃)
- ・ 付加価値は、経済価値換算による定量化が重要。政府、地方公共団体、電力会社等の太陽光発電支援策の根拠となりうる定量的評価を行ない、発電単価引き下げの換算値を求める。
- ・ 施工面等における品質の確保と発電量(kWh)の保証体制が重要であり、その方策を探る。

(2) 産業用(工場・ビル向け)は、

- ・ 住宅に続く国内市場の中核と捉えられる。
- ・ 住宅用に比べ PV システムが大型になることから、規模の効果によって住宅用を下回る低価格システムの実現を目標とする。(2010～2020 年頃)
- ・ 付加価値については、住宅分野と同様の考え方に加えて、工場緑地、ヒートアイランド現象緩和等の有用な付加価値を内在している点を分析する。(支援策によって、産業用 PV 導入の一層の拡大が期待される。)
- ・ さらに、発電用市場への進出の可能性を検討する。

3. PV 産業における技術の将来像と技術開発のあり方

3.1 モジュールコストの低減策

モジュール製造コストの低減は、PV システムの経済性確立の基盤である。

新エネルギー部会報告^[3]では、2010 年度までにモジュールコスト 100 円/W で量産が行われることとされている。その先の、2020 年度(1 兆円産業)、2030 年度(2 兆円産業)を見据えたコストダウンのための技術開発のあり方について、前節の考え方に沿って検討と分析を行ない、表 3 - 1 に示す技術開発の里程を構想した。

検討対象とされた技術は、バルク Si 系太陽電池、

薄膜(Si 系、CIS 系)太陽電池である。これら以外に、超高効率集光系太陽電池や色素増感型太陽電池等の長期的視点では有望と思われる技術があるが、現時点では定量的な分析に必要なデータが不十分なため、今後それぞれの研究開発が進展した段階で改めて検討されることとなる。

表 3 - 1 に示すように、2015～2020 年には「モジュールコスト 75 円/W 程度」、また 2020～2030 年には「モジュールコスト 50～60 円/W」が目標となり、要素技術の進歩とともに、大量供給に適した生産技術の本格的な研究が実施され、産業技術として完成することが求められる。

現在の主役であるバルク Si 系太陽電池の技術水準は、国際的にも第 1 級水準とみられるが、その座は将来も安泰とは言い切れない。欧米では、バルク Si 系の将来技術について複数のメニューが用意されつつある。今後の国際競争力を考えると、わが国においても、従来あるいはそれ以上の技術開発が不可欠である。

また、薄膜系モジュールについては、現時点の技術ポテンシャルからみて 1 桁以上高い生産性の実現が必要であり、生産技術の革新的向上が焦点になる。これには、装置開発を含む膨大な費用が必要で、リスクが大きい。大量に生産・普及させるためには、避けて通れない課題である。これを効率的に開発するために、PV 関連業界の密接な協力と国による積極的な支援体制が必要とされる。

3.2 住宅用 PV 市場の拡大策

住宅用 PV 市場拡大のためには、経済性と品質・性能の信頼性の確保が重要である。

3.2.1 住宅用 PV システムの低価格化

一般需要家を掘り起こすためには、家庭用電灯料金を下回る発電単価を実現することが前提条件であり、PV システム設置費用を 15 年で回収できる低価格化が求められる。このためには、モジュール価格の低減に加えて、BOS(インバータ、付帯設備、据付工事等)の低価格化を進める必要がある。また、PV の持つ付加価値を経済価値に転換し、受益者自体や公的機関が別途負担するものとして、PV システム価格または発電単価から差し引くのが適当と考えられる。

これらを定量化に検討した結果、

住宅用 PV システムの価格は、2000 年の実績平均 873 円/W(うち BOS 価格 284 円/W)から、2010 年度には 300 円/W(うち BOS 価格 130 円/W)、2020 年度には 230 円/W(うち BOS 価格 100 円/W)へと低減できる可能性があり、

^{*2} 設置費用を、発電量に相当する電気料金で回収する場合の年限。回収期間中の利子も算定する。

表 3 - 1 PV モジュールの技術開発基本構想

実用化の時期		2010 年頃	~ 2020 年	~ 2030 年
モジュールの目標コスト		100 円/W	75 円/W	50 ~ 60 円/W
プラント規模の想定		100MW/年	~ 250MW/年	~ 500MW/年
バルク Si 系の構想 ⁽¹⁾	Si 基板厚	150 ~ 200 μm	100 μm 以下 (例: 50 μm)	
	モジュール効率	極薄型スライス基板: 17% スライスレス基板: 15%	超薄型 Si 基板: 20%	
	取組方針	<p>については、多結晶 Si に関する技術知見を幅広く洗い直して、単結晶に迫る高品位化を可能とする技術基盤の確立を図る。同時に、極薄型 Si 基板を用いたセル・モジュール工程の高生産性化・高歩留り化を実現するプロセス技術の開発を行う。</p> <p>は、新たな発想からの技術開発基本計画を策定するための調査研究を行う。</p>		
薄膜 Si 系の構想	モジュール効率	12%以上	13%以上	16%程度
	生産性向上 ⁽²⁾	約 3 倍	約 10 倍	約 15 倍
	取組方針	<p>・効率向上については、材料の高品質化と構造の最適化を極限まで進め、現行の多結晶 Si 系に迫るモジュール効率を狙う。</p>		
薄膜 CIS 系の構想	モジュール効率	13%以上	16%程度	18%程度
	生産技術確立	<p>・モジュール材料の根本的検討によるモジュール構造</p> <p>・製法の技術確立・製造プロセスの完成と高生産性化</p>		
	取組方針	<p>・材料(CIS、窓層、透明電極等)の高品位化を極限まで進める。</p> <p>・高品質ワイドギャップ材料の開発・実用化を図る。</p> <p>・モジュール構造・製法を確立し量産に適した製造プロセスを完成させる。</p>		
<p>注記:</p> <p>(1) バルク Si 系太陽電池については、生産規模拡大に必要な Si 原料確保の課題があるが、太陽電池用原料技術研究組合(SOGA)による技術開発を始めとする様々な取組みがなされていることを考慮し、ここでは、Si 原料問題が量・価格ともに解消されることを前提とした。</p> <p>(2) 現在商業化されている薄膜 Si 系太陽電池の生産性を 1 とし、各年代に目標とする生産性を比率で示したものである。とくに、CVD 工程の高スループット化技術を開発し実用化する必要がある。</p>				

そのための BOS の低価格化への取組課題が整理された。システム価格の低減によって、その回収年数は、2010 年度には 15 年余り、2020 年度には 11 年余りと試算でき、また、発電単価^{*3}は、2010 年度 19.2 円/kWh、2020 年度 14.7 円/kWh となって、一般ユーザーによる PV システムの設置が拡大することが示唆される。

さらに、付加価値として、PV 設置に伴う CO₂ 排出抑制の経済価値、及び、屋根機能を備えた実用性の高い新規 PV モジュールの実用化による屋根工事費用の節減等を考慮すると、実質のシステム価格が一層低下するので、住宅用 PV 市場の拡大が加速するものと推定される。

3.2.2 ユーザー指向の商品化

耐久財の長期保証の動向に合わせ、PV システムに対する信頼を高める仕組みの構築等、ユーザー

指向の商品化技術が一層必要となる。このためには、

施工のガイドラインや工事マニュアルの見直し・改善、施工後の検査マニュアル・検査体制
PV の本来的便益である発電量(kWh)保証の枠組みが重要である。

PV の品質保証については、IEC-EE による国際相互認証スキームの検討に対応して、わが国では日本電機工業会(JEMA)を中心に認証制度が検討されていて、2003~05 年にはモジュールの認証制度がスタートする計画である。また、システムの認証制度は、2010 年度以降に整備される計画となっている。将来的には、国際市場での PV システム性能の保証が要求されるようになり、国内でも発電量について使用者の関心が高まることが予想され、今後の PV システム大量普及のためには、発電量評価手法及びその保証体系の構築が必要となる。

^{*3} 発電単価計算は、新エネルギー一部会報告書^[3]の参考資料 5 に拠る。ただし、返済期間 20 年、利子率 3%とした。回収年数は、発電量の単価 23 円/kWh、利子率 3%とした場合である。

3.3 産業用 PV 市場の拡大

産業施設への PV 普及を考えると、経済性(工場用電力との競合)は最大の要素である。

このため、産業 PV システムの特徴を背景としたコストダウン方策が必要である。とくに、BOS 価格は、現状では市場が小さく、仕様も多岐にわたるため、各案件に対する個別設計が行われ、高価格の要因になっている。今後、標準工法の設定や工事の簡素化等が進めば、産業用システムは 1 件当たりの設備容量が大きいので、むしろ規模拡大の効果を引き出せる期待がある。

これらを考慮した価格分析を行った結果、2010 年には BOS 価格 98 円/W(システム価格 243 円/W)、2020 年には BOS 価格 68 円/W(システム価格 178 円/W)と予測され、住宅用システムよりも低価格な産業用システムが可能と考えられる。発電単価を試算すると、2010 年に 15.5 円/kWh、2020 年に 11.4 円/kWh となる。

さらに、工場緑地や屋上緑化等の基準の運用にあたって、PV 設置による規制緩和等の措置がとられれば、産業用 PV システムの実質的な価格が低下することになるので、PV 導入の動機付けとなって大きな需要が顕在化すると想定でき、住宅用に続く PV 市場の核となりうる。

3.4 PV 発電プラントの可能性

2030 年頃、モジュールコストが 50 円/W 程度になり、大型発電システム用の簡易設置工法が開発され

れば、10 万 kW 級のシステム価格が 120 円/W 程度に低減する可能性がある。(モジュール価格 70~80 円/W、BOS 価格 40~50 円/W と推定)

この場合の発電単価は、7.7 円/kWh となり、火力発電単価^{*4}と同レベルとなる。さらに、CO₂ 排出抑制効果等の付加価値分を差し引けば、電力会社の燃料費相当に近づく。

ただし、発電プラントに関しては、系統への影響の対策技術、土地整備費用、保守費用等も勘案する必要があるため、今後、詳細に調査・検討を行って、目標を設定する必要がある。

4. 結び

2010 年度導入目標(482 万 kW)達成を通過点とし、わが国の PV 産業が、さらに飛躍していくために解決すべき課題と取組み方について概観した。更なる解析と検討を要する箇所もあるが、重要なことは、順次、これらを具体的な行動に移していくことである。諸賢の一層のご支援をお願いする次第である。

小稿のもととなった「PV 産業技術ビジョン」は、PVTEC 戦略企画小委員会(委員長:小長井 東工大教授)による審議をはじめ、個別課題については、複数の研究グループ並びに作業グループが編成され、各グループリーダーを中心とする熱心な討議を通して作成された。参画された多くの方々並びに貴重なご意見をいただいた関係機関各位に紙面を借りて深く感謝申し上げます。

^{*4} 「代表的な新エネルギーの経済性試算例」新エネルギー部会報告書 p.12(2001 年 6 月)によると、火力発電単価を 7.3 円/kWh、燃料費相当(電力会社の回避可能原価)を 4 円/kWh と設定。

参考資料

- [1] 太陽光発電協会 / 光産業技術振興協会「平成 13 年(年度値)太陽電池セル・モジュール出荷統計」NEWS LETTER No.02-32、2002 年 7 月
- [2] 太陽光発電協会「太陽光発電産業自立に向けたビジョンの概要」光発電 No.25、2002 年 3 月
- [3] 新エネルギー部会報告書 ~ 今後の新エネルギー対策のあり方について ~ 総合資源エネルギー調査会 新エネルギー部会、2001 年 6 月
- [4] 太陽光発電協会「太陽光発電産業自立に向けたビジョン“エネルギー・環境へ貢献する新しい産業創生”」第 19 回太陽光発電システム シンポジウム、2002 年 6 月
- [5] 平成 12 年度 新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書「太陽光発電システム実用化技術開発 / 太陽光発電評価の調査研究」太陽光発電技術研究組合、平成 13 年 3 月